

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2004 年 8 月 26 日 (26.08.2004)

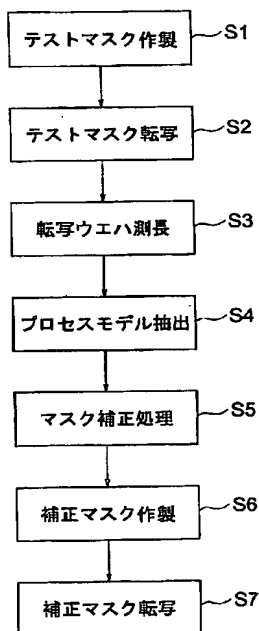
PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2004/072735 A1

- (51) 国際特許分類: G03F 1/08
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2003/016343
- (22) 国際出願日: 2003 年 12 月 19 日 (19.12.2003)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願2003-037699 2003 年 2 月 17 日 (17.02.2003) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): ソニー株式会社 (SONY CORPORATION) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都品川区北品川6丁目7番35号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および  
(73) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 小澤 謙 (OZAWA, Ken) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 中村 友之 (NAKAMURA, Tomoyuki); 〒105-0001 東京都港区虎ノ門1丁目2番3号 虎ノ門第一ビル9階 三好内外国特許事務所内 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (国内): CN, DE, KR, US.
- 添付公開書類:  
— 国際調査報告書
- 2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: MASK CORRECTING METHOD

(54) 発明の名称: マスクの補正方法



S1...FABRICATION OF TEST MASK  
S2...TRANSFER OF TEST MASK  
S3...MEASUREMENT OF TRANSFER WAFER  
S4...EXTRACTION OF PROCESS MODEL  
S5...CORRECTION OF MASK  
S6...FABRICATION OF CORRECTED MASK  
S7...TRANSFER OF CORRECTED MASK

(57) Abstract: A method for correcting a photomask by the optical proximity effect, enabling decrease of the inter-mask difference in the pattern density-dependent error of the line width between a test mask and a corrected mask. The method comprises a step (S<sub>1</sub>) of fabricating a test mask to serve as a process model extraction mask necessary for the optical proximity effect correction, steps (S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>) for transferring the mask pattern of a test mask to a wafer and measuring the dimensions of the transferred pattern, a step (S<sub>4</sub>) of deriving a function model (hereinafter referred to as process model) such that the result of simulation of the transferred pattern of a mask pattern of a photomask by using the functional model agrees with the result of the measurement at the above measuring step, a step (S<sub>5</sub>) of forming a mask pattern such that the transferred pattern agrees with the design pattern by using the process model and creating mask data on the photomask according to the formed mask pattern, a step (S<sub>6</sub>) of fabricating a corrected mask according to the created mask data, and an exposure condition setting step (S<sub>7</sub>) of determining a condition under which the OPE characteristic is flat in respect of the magnitude of the pitch by controlling at least either the numerical aperture (NA) of the exposure system or the illumination condition (σ) when a corrected mask is transferred.



---

(57) 要約:

光近接効果補正によりフォトマスクを補正する際、線幅のパターン疎密依存誤差に関するテストマスクと補正マスクとのマスク間差を小さくできるフォトマスクの補正方法である。本方法は、光近接効果補正法を適用するプロセスモデル抽出用マスクとして機能するテストマスクを作製する工程 ( $S_1$ ) と、テストマスクを使って転写し、転写パターンを測長する工程 ( $S_2$ 、 $S_3$ ) と、関数モデルを使ってフォトマスクのマスクパターンの転写パターンをシミュレーションした結果が、前記測長する工程で得た測長結果になるような関数モデル（以下、プロセスモデルと言う）を導出する工程 ( $S_4$ ) と、プロセスモデルを用いて、転写パターンが設計パターンと一致するようなマスクパターンを導出し、導出したマスクパターンに基づいてフォトマスクのマスクデータを作成する工程 ( $S_5$ ) と、作成したマスクデータに基づいて補正マスクを作製する工程 ( $S_6$ ) と、補正マスクの転写に際し、露光装置の開口数 ( $NA$ ) 及び照明条件 ( $\sigma$ ) の少なくともいずれかを調節して  $OPE$  特性がピッチの広狭に関してフラットになる条件を求める露光条件設定工程 ( $S_7$ ) と有する。

## 明細書

## マスクの補正方法

## 5 技術分野

本発明は、光近接効果補正法（OPC）を用いてフォトマスクを補正する方法に関し、更に詳細には、線幅のパターン疎密依存誤差に関するテストマスクと補正マスクとのマスク間差をできるだけ解消するようにしたマスクの補正方法に関するものである。

10

## 背景技術

半導体装置の微細化及び高集積化に伴い、半導体装置に設けられる回路パターンも微細化している。そして、回路パターンの微細化とともに、半導体装置の製造工程でパターンニングを行う際に使用される光リソグラフィ・プロセスでは、必要とされる解像度（Resolution）が厳しくな

15 フィ・プロセスでは、必要とされる解像度（Resolution）が厳しくなり、その結果、露光装置の投影光学系の高NA化及び露光光源の短波長化が進んでいる。

光リソグラフィにおける解像度（R）は、以下のレイリーの式で表される。

20 
$$R = k_1 \times \{ \lambda / (NA) \} \quad \dots \dots (1)$$

ここで、 $\lambda$  は露光波長、NAは露光装置の開口数であり、 $k_1$  は光リソグラフィ・プロセスの条件等で決まる定数である。

必要とされる解像度（R）が厳しくなるに従い、 $k_1$  ファクタも小さくなってきているので、益々、所望の解像度を得ることが難しくなっ

25 いる。

また、近年の半導体装置の高性能化及び高集積化に伴い、必要とされる解像度が上がり、上述のようにk1が小さい領域での光リソグラフィ、即ちlow-k1リソグラフィになっている。

このようなlow-k1リソグラフィでは、フォトマスクのマスク製造誤差が、ウェハ上に転写した転写パターンのパターン線幅(Critical Dimension: 以下CDと言う)に与える影響が大きくなって来ている。

そこで、low-k1リソグラフィでは、露光装置に斜入射照明を採用したり、フォトマスクとして位相シフトマスクを用いたり、更には、マスク寸法及びマスク形状を予めバイアス補正し、変形するOPC(Optical- Proximity Effect Correction)を導入して光近接効果を補正している。

OPC補正では、後述するように、プロセスモデル抽出用マスクの転写結果からプロセスモデルを抽出し、プロセスモデルに基づいてマスク補正値を導出し、その導出されたマスク補正値に基づいて補正マスクを作製している。

フォトマスクのパターン寸法誤差(maskCDerror)がウェハ上に転写した転写パターンの寸法誤差(waferCDerror)に与える影響の強弱を表す指標として、以下の式(2)で表されるMEF(Mask Error Enhancement Factor)が一般的に用いられている。

$$MEF = wafer\ CDerror / (mask\ CDerror / M) \cdots (2)$$

ここで、Mは、露光装置の縮小投影倍率であって、現在の半導体装置の製造用露光装置では典型的には5または4である。

近年のlow-k1リソグラフィでは、式(2)で算出されるMEFは、クリティカルパターンでは、2～3にも及ぶこともある。つまり、Low-k1リソグラフィでは、フォトマスクのパターン寸法誤差が、

ウエハ上に転写した転写パターン寸法に対して大きなインパクトを有し、フォトマスクのパターン寸法誤差の転写パターンに対する影響度は益々大きくなって来ている。

ここで、第 8 図を参照して、従来のマスクの OPC 補正方法を説明する。第 8 図は従来のマスクの OPC 補正方法の手順を示すフローチャートである。

10    先ず、第8図に示すように、ステップS<sub>1</sub>でプロセスモデル抽出用マスク、つまりテストマスクを作製する。プロセスモデルとは、関数モデルを使ってフォトマスクの転写パターンをシミュレーションした結果が、テストマスクの転写パターンを測長して得た測長結果になるような関数モデルを意味する。テストマスクの作製では、プロセスモデルを抽出するため、実デバイスの回路パターンを代表するような様々な形状、寸法、ピッチ等を有するテストパターンをテストマスクに配置する。

次いで、ステップS<sub>2</sub>のテストマスクの転写工程に移行する。ステップS<sub>2</sub>では、先ず、露光装置の露光条件、レジストプロセス条件、エッチングプロセス条件等のプロセス条件を設定し、設定したプロセス条件でテストマスクをウエハ上に転写し、加工して、転写パターンをウエハ上に形成する。

次に、ステップS<sub>3</sub>でウエハ上に形成された転写パターンのパターン  
20 寸法をSEM (Scanning Electron Microscope) 等で測長する。

続いて、ステップS<sub>4</sub>のプロセスモデル抽出工程で、パターン寸法の測長値からプロセスモデルを作成する。

次に、ステップS<sub>5</sub>の補正マスク作製工程では、転写、加工後に所望のパターン寸法及びパターン形状を得ることができるような補正マスクパターンをプロセスモデルに基づいて導出（抽出）し、補正マスクパターンに基づいて補正マスクを作製する。

以上の工程を経て、O P Cを施した補正マスク、つまり製品マスクを作製することができる。

このように、O P C補正は、テストマスク作製→転写→測長→プロセスモデル抽出→マスク補正值導出→補正マスク（製品マスク）作製からなる手順で行われている。そして、補正マスクを用いて転写したパターンを測長して補正マスクを評価すると言うように、マスクのO P C補正は、複雑な工程を経て行われている。

従来のマスクのO P C補正は、例えば特開 2 0 0 2 - 1 2 2 9 7 7 号公報の第 2 頁及び第 3 頁に記載されている。

ところで、近年の 1 0 w - k 1 リソグラフィでは、マスクの製造の際に生じるパターン寸法誤差のインパクトは、上述のように、従来に比べてマスクパターンの正確な転写の観点から著しく大きくなってきている。

一方では、フォトマスクのマスクパターンを設計通り作製することは難しく、マスク寸法は必ずパターン寸法誤差（公差）を含んでいる。特に、問題となっているのは、パターンの疎密依存性、又は線幅のパターン疎密依存誤差と呼ばれているものである。

これは、第 1 図に示すように、フォトマスクのマスクパターンの目標線幅が同じでも、密集ラインのパターンと孤立ラインのパターンでは、それぞれの寸法誤差が異なり、密集ラインのパターン寸法誤差の方が大きい傾向がある。

例えば、P r o c . S P I E V O l . 4 7 5 4 ( 2 0 0 2 ) の第 1 9 6 頁から第 2 0 4 頁に記載の「A d v a n c e d p a t t e r n c o r r e c t i o n m e t h o d f o r f a b r i c a t i n g h i g h l y a c c u r a t e r e t i c l e s」に報告されているように、マスクのパターン寸法誤差は、主として、マスクパターンを描画する際の描画誤差と、描画→現像後の基盤エッチングの際のエ

ッチング誤差とに起因しているものの、更に、寸法変動疎密特性、つまり線幅のパターン疎密依存誤差が注目されている。

そして、マスク作製の際の描画に起因する誤差はEB（電子ビーム）露光量補正により補正され、描画→現像後の基盤エッチングの起因する  
5 誤差はパターン補正により補正されるが、線幅のパターン疎密依存誤差を完全に制御することは難しい。

現在の一般的なフォトマスク仕様としては、平均寸法公差（Mean to Target）、及び面内のライン幅均一性が挙げられていて、線幅のパターン疎密依存誤差に関しては、ITRS（International  
10 Technology Roadmap for Semiconductors）等のロードマップにも現在のところ項目が存在しない。

しかし、以下に説明するように、マスク線幅のパターン疎密依存誤差は、転写パターンの転写CD誤差に大きく影響する。

従来、光リソグラフィ工程の実施に際し、フォトマスク間の相互のパターン寸法誤差に関して余り関心が持たれていなかった。しかし、今日のlow-k1リソグラフィでは、同じ仕様で作製された2枚のフォトマスクであっても、それぞれの転写パターンの相互の転写CD間差が大きなことが注目されている。  
15

これは、線幅のパターン疎密依存誤差に関する2枚のフォトマスク同士  
20 士の僅かな差が、近年のlow-k1リソグラフィにおける大きなMEFにより強調されているためである。

ところで、マスクパターンのパターンピッチを変化させた時の転写CDの特性、即ち第2図に示すようなパターンピッチ対転写CDの関係を  
示すグラフは、OPE（Optical Proximity Effect）カーブと呼ば  
25 れ、マスク補正値を導出する際の基本データの一つである。

マスク補正の基本データとなるOPEカーブには、本来、補正対象である光近接効果による影響に加えて、線幅のパターン疎密依存誤差による影響も重畳されていることになる。

- 5 前述のように、テストマスクのマスクパターンも、また補正マスクのマスクパターンも、それぞれ、マスク線幅のパターン疎密依存誤差を含んでいる。従って、マスク線幅のパターン疎密依存誤差に関するテストマスクと補正マスクとのマスク間差が重要となる。

- 10 前述したステップS<sub>4</sub> プロセスモデル抽出工程では、テストマスクが設計通りに出来ていることを前提にして、プロセスモデルを作成しているが、現実には、マスク線幅のパターン疎密依存誤差がテストマスクのマスクパターンに存在する。従って、プロセスモデルはテストマスクのパターン寸法誤差を含んだ状態で作成されているので、マスク線幅のパターン疎密依存誤差に基づくテストマスクの線幅の疎密依存寸法誤差もプロセスモデルに伝搬している。

- 15 テストマスクと全く同じパターン疎密依存誤差を持った補正マスクを作製することができれば、補正マスクの転写CD誤差は殆どゼロに出来るが、しかし、実際は、テストマスクと補正マスクとでは、線幅のパターン疎密依存誤差に関するマスク間差が製造ばらつきの範囲で発生することは避けられない。このマスク間差は、補正マスクを転写した際に、  
20 前述のようにMEFで強調されるものと理解される。

そのため、テストマスクの持つ線幅のパターン疎密依存誤差と補正マスクの持つ線幅のパターン疎密依存誤差の差、つまりマスク間差が、補正マスクを転写して得られるパターンの加工寸法に対して影響し、転写パターンに無視できない誤差、即ちマスク補正残差が生じる。

- 25 この結果、高いパターン寸法制御精度の転写パターンを得ることが難しい。

しかし、OPCによる従来のマスク補正方法では、マスク間差に対して特別の考慮を払うようなことがなく、上述のように、テストマスクによりプロセスモデルを作成し、それにより補正した補正フォトマスクを作製する際にも、線幅のパターン疎密依存誤差に関するテストマスクと補正後フォトマスクとのマスク間差の影響を解消することができない。これが、OPC補正誤差の一つの誤差要素として残留し、補正精度の向上を難しくしている。

そこで、本発明の目的は、光近接効果補正によりフォトマスクを補正する際、線幅のパターン疎密依存誤差に関するテストマスクと補正マスクとのマスク間差を小さくできるフォトマスクの補正方法、つまりはマスク製造管理方法を提供することである。

#### 発明の開示

本発明者は、次のように考えた。即ち、先ず、テストマスクと補正マスクの線幅疎密依存のマスク間差を最小にするため、製造ばらつきの中心の線幅疎密依存を持つマスクをテストマスクとして用いる。

また、補正マスクの転写の際にプロセスマージンを劣化させない範囲で露光装置のNA、及び $\sigma$ の少なくともいずれかを微調整してOPEカーブを制御し、線幅のパターン疎密依存誤差のマスク間差をマッチングさせることにより、補正マスク転写時のOPEカーブに残差が生じることを抑制することが可能である。ここで、 $\sigma$ はコヒーレンスファクタであって、 $\sigma = \text{照明系 NA} / \text{投影レンズ物体側 NA}$ である。

そこで、露光装置のNA及び $\sigma$ の少なくともいずれかを微調整することにより、テストマスクと補正マスクとをマッチングさせて、線幅のパターン疎密依存誤差に関するテストマスクと補正マスクとのマスク間差を解消して、OPC補正精度を向上させることを着想した。

そして、以下に説明するように、シミュレーション及び実験により本着想が有効であることを確認し、本発明方法を発明するに到った。

上記目的を達成するために、上述の知見に基づいて、本発明に係るマスクの補正方法は、光近接効果補正法を用いてフォトマスクを補正する

5 方法であって、

光近接効果補正法の適用に必要な関数モデルの抽出用マスクとして機能するテストマスクを、線幅疎密依存が所定レベル以下で且つ製造ばらつきの中心で作製する工程と、

10 テストマスクのマスクパターンをウエハ上に転写し、転写パターンの寸法を測長する工程と、

フォトマスクをウエハ上に転写してなる転写パターンの寸法を関数モデルを使ってシミュレーションした際、シミュレーション結果が前記測長する工程で得た測長結果に一致するような関数モデル（以下、プロセスモデルと言う）を導出する工程と、

15 プロセスモデルを用いて、転写パターンが設計パターンと一致するようなマスクパターンを導出し、導出したマスクパターンに基づいてマスクデータを作成する工程と、

20 作成したマスクデータに基づき、かつ補正マスクの線幅のパターン疎密依存誤差が所定範囲内でテストマスクのそれと一致するような作製条件で、補正マスクを作製する工程と、

補正マスクを転写する際、パターンピッチの所定範囲にわたりOPE特性をフラットにできるような、露光装置の開口数（NA）及びコヒーレンスファクタ（ $\sigma$ ）の少なくともいずれかを求める露光条件設定工程と

25 を有することを特徴としている。

本発明方法では、補正マスクを転写する際、パターンピッチの所定範囲にわたりOPE特性をフラットにできる、露光装置の開口数（NA）及びコヒーレンスファクタ（ $\sigma$ ）の少なくともいずれかを求め、その条件で露光することにより、マスク製造上残留する、線幅のパターン疎密依存誤差に関するテストマスクと補正マスクとのマスク間差を所定内の範囲に抑えることができる。

尚、 $\sigma$  は、輪帯照明ではインナー（inner）- $\sigma$  と、アウター（outer）- $\sigma$  である。インナー $\sigma$  とはリング状光源の内側 $\sigma$  のことであり、アウター $\sigma$  とはリング状光源の外側 $\sigma$  のことである。

10 本発明方法の好適な実施態様のテストマスクを作製する工程では、テストマスクの線幅のパターン疎密依存誤差を許容範囲に収めることができ、且つ疎密依存誤差が製造ばらつきの中心となるマスク作製条件でテストマスクを作製する。テストマスクのマスク作製条件は、実験或いはシミュレーション計算により求める。これにより、線幅のパターン疎密依存誤差が許容範囲内で、且つばらつき幅の中で平均的なマスクをテストマスクとして使用することができる。

また、補正マスクを作製する工程では、線幅のパターン疎密依存誤差に関するテストマスクと補正マスクとのマスク間差が、所定範囲内になるように設定されたマスク作製条件で補正マスクを作製する。補正マスクのマスク作製条件は、実験或いはシミュレーション計算により求める。プロセスモデルからマスクデータを抽出し、マスクデータに基づいて、上述のマスク作製条件で補正マスクを作製することにより、マスク間差の影響の大部分を解消することができる。

20 更に、露光条件設定工程では、テストマスクの線幅のパターン疎密依存誤差を基準にしてテストマスクと補正マスクのパターン疎密依存誤差のマスク間差の影響を相殺するため、補正マスクを転写したときのOP

Eカーブが最もフラットになるように露光装置の設定NA、 $\sigma$ を微調整する。これにより、補正マスクの作製工程で僅かに残存するテストマスクとのマスク間差を解消することができる。

本発明方法の基本的な概念は、以下の通りである。

- 5 (1) パターンの疎密によるマスク製造誤差を許容レベル以下にするために、テストマスクに許容される線幅のパターン疎密依存誤差の許容範囲を設定する。且つ、パターン疎密依存誤差の製造ばらつきの中心になるものをテストマスクとして使用する。これにより、補正マスク転写時に、テストマスクの線幅のパターン疎密依存誤差に起因してウエハ上の
- 10 転写パターンに伝搬されるパターン寸法誤差を許容レベル内に収めることができる。

- (2) テストマスク及び補正マスクの線幅のパターン疎密依存誤差が、それぞれ、所定範囲以内で一致するようにする。これにより、補正マスクの線幅のパターン疎密依存誤差が、所定範囲内のマスク間差で、テスト
- 15 トマスクの線幅のパターン疎密依存誤差と同じものとして再現され、ウエハ上の転写パターンのマスク間差に起因するパターン寸法誤差が所定範囲内に収まるようになる。

- (3) (2) では、補正マスクと線幅のパターン疎密依存誤差とテストマスクの線幅のパターン疎密依存誤差とが所定範囲以内で一致するものの、補正マスクとテストマスクとの間には線幅のパターン疎密依存誤差のマスク間差が僅かながら残留する。そこで、露光装置のNA及び
- 20  $\sigma$ の少なくともいずれかを調整して、テストマスクと補正マスクとをマッチングさせることにより、残留しているマスク間差をゼロにする。つまり、(2)の結果、尚、残留しているマスク間差を解消することにより、ウエハ上の転写パターンのパターン寸法誤差を更に小さくするこ
- 25 とができる。

以下に、上記の基本的な概念を更に詳しく説明する。

(1) に関する説明

前述のように、テストマスクの製造では、パターンの疎密に依存してパターン寸法誤差が生じる。それは、テストマスクをパターンニングする際、密集ラインを有するデンス (Dense、密集ライン) 領域では、マスク基板を構成する石英のエッチングレートが、孤立ラインからなるアイソレーション (Isolation、孤立ライン) 領域と比較して低い。その結果、デンス領域のパターン線幅が、第1図に示すように、アイソレーション領域に比べて相対的に太くなる傾向があるからである。

第1図は、ピッチの広狭とマスク製造誤差との典型的な関係を示すグラフであって、ラインパターンの線幅を固定し、パターンピッチを狭いピッチから広いピッチに変動させて、マスク製造誤差を測定したものである。

ここで、簡単のために、デンス (Dense、密集ライン) とアイソレーション (Isolation、孤立ライン) の2つのピッチ態様のフォトマスクを例に挙げ、第2図を参照して、それぞれの転写CDを説明する。第2図は、線幅のパターン疎密依存誤差をパラメータにして、パターンピッチと転写CDとの関係を模式的に示すグラフである。グラフ(1)は、線幅のパターン疎密依存誤差  $\Delta M$  がゼロのときのOPEグラフであり、即ち本来抽出すべき光近接効果を表す。グラフ(2)は線幅のパターン疎密依存誤差  $\Delta M$  を含むマスクを転写した時のOPEグラフである。

ここで、線幅のパターン疎密依存誤差  $\Delta M$  は、

$$\Delta M = D_E - I_E$$

$D_E$  : デンスのピッチ態様のマスク製造誤差

$I_E$  : アイソレーションのピッチ態様のマスク製造誤差

で表される。

- 第2図に示すOPEグラフ(1)とOPEグラフ(2)とを比較すると、線幅のパターン疎密依存誤差が $\Delta M$ のときのデンスのピッチ態様の転写CDは、線幅のパターン疎密依存誤差 $\Delta M$ がゼロのときのデンスのピッチ態様の転写CDより $MEFd \times \Delta M$ だけ大きい。つまり、 $\Delta M = 0$ のときの転写CDに比べて $MEFd \times \Delta M$ だけ強調されている。なお、 $MEFd$ は、ピッチ態様がデンスのときのMEFを示す。

- このように、マスク線幅のパターン疎密依存誤差を有するテストマスクのOPEカーブ(2)は、線幅のパターン疎密依存誤差が無い理想的なマスクのOPEカーブ(1)から逸脱して、誤差が生じている。

従って、テストマスクに線幅のパターン疎密依存誤差があるときには、算出されるマスク補正值に誤差が生じて、補正マスクの転写パターンの寸法に誤差が伝搬する。

- 第3図は、テストマスクの線幅のパターン疎密依存誤差が補正マスクの転写CDの寸法誤差に与える影響を示すグラフであって、線幅のパターン疎密依存誤差に関するテストマスクと補正マスクのマスク間差をゼロとしたときの補正マスクの転写CD誤差をシミュレーションした結果である。シミュレーションの条件は、以下の通りである。

マスク：透過率6%のハーフトーン位相シフトマスク

- 20 テストマスクのパターン

理想マスク：140nm幅のアイソレーションラインと140nm幅ライン／260nmピッチのデンスライン

現実マスク：140nm幅のアイソレーションラインと140nm＋ $\Delta M$ 幅ライン／260nmピッチのデンスライン

ここで、 $\Delta M$ はテストマスクの線幅のパターン疎密依存誤差を表し、第3図の横軸に示すように、 $-6\text{ nm}$ から $+8\text{ nm}$ までの可変パラメータとしている。

5 転写CDの目標値： $110\text{ nm}$ 幅のアイソレーションラインと $110\text{ nm}$ 幅ライン/ $260\text{ nm}$ のデンスライン

露光条件：露光光/A r F、 $NA=0.60$ 、 $\sigma=0.75$ 、 $2/3$ 輪帯

シミュレーションで仮定したプロセスは、コントラスト $\gamma$ が $10$ 、拡散長が $30\text{ nm}$ という標準的なA r Fレジストに対応したものである。

10 第4図は、第3図のグラフの計算データを示す表である。いずれの計算も、テストマスクの線幅のパターン疎密依存誤差を変えた場合の補正マスクの転写CD誤差のウエハ面換算のシミュレーション計算結果である。

第3図及び第4図から、線幅のパターン疎密依存誤差に関するテスト  
15 マスクと補正マスクのマスク間差がゼロであっても、補正マスクの線幅が $127\text{ nm}$ （テストマスクの線幅のパターン疎密依存誤差がゼロの時に算出される補正マスクの $260\text{ nm}$ ピッチパターンの線幅）にはならず、テストマスクの線幅のパターン疎密依存誤差に応じて僅かに誤差が発生する。更に、この補正マスクを転写した際には、上述の僅かな誤  
20 差がM E Fで強調され、第3図に示すように、ウエハ転写パターンの線幅に無視できない誤差が残留することが判る。

これはテストマスクの線幅のパターン疎密依存誤差が比較的大きい場合は、マスク補正の系の線形性が完全には保たれないためであると考えられる。

25 (2) に関する説明

第1図に示すように、線幅のパターン疎密依存誤差に関するテストマスクと補正マスクのマスク間差が、MEFで強調されて補正マスクの転写パターンに反映されるため、マスク間差を管理することが重要である。

- 5      これは、テストマスクの線幅のパターン疎密依存誤差を基準としてマスク間差を管理して補正マスクを作製することが必要であることを示している。更に、製造ばらつきを考慮した場合、テストマスクのパターン疎密依存誤差はばらつきの中心であることが望ましい。

(3) に関する説明

- 10      第5図は線幅のパターン疎密依存誤差  $\Delta M$  がゼロの理想マスク（マスクA）と、 $\Delta M$  がウエハ上換算で2 nmの現実に近いマスク（マスクB）の2つのマスクの転写CDのシミュレーション結果を示す。なお、マスクA、Bは、それぞれ、線幅のパターン疎密依存誤差がゼロのテストマスクでプロセスモデルを抽出し、第9図に示すように、補正マスク  
15      を転写した後に、スルーピッチで110 nmになるように各ピッチにおける補正マスクのライン寸法が算出される。第9図はこのスルーピッチでのマスク補正值を示すグラフである。

- この補正されたライン寸法に対して、線幅のパターン疎密依存誤差  $\Delta M$  がそれぞれゼロのマスク（マスクA）と2 nmのマスク（マスク  
20      B）を仮定して転写CDを計算している。第10図にこの検討に用いたマスクBの線幅のパターン疎密依存誤差を示す。

- 第5図から、ピッチが小さい初期状態では、マスクの線幅のパターン疎密依存誤差が、各ピッチ、線幅に対するMEFで強調されるので、マスクBのOPEカーブはマスクAのOPEカーブに対して大きく逸脱し  
25      ている。ピッチが大きくなるにつれて、つまりピッチが約500 nm以

上になると、マスクAのOPEカーブとマスクBのOPEカーブとがほぼ一致することが分かる。

露光装置の開口数（NA）を僅かに変えることにより、例えばNAを0.60から0.58に変更することにより、マスクBのOPEカーブをマスクAのOPEカーブにマッチングさせることができる。

第6図は、露光装置のNAの微調整によりマスクマッチングさせたシミュレーション結果を示すグラフを示し、NA0.60で露光したマスクA及びマスクBのOPEカーブに加えて、NAが0.59及び0.58で露光したマスクBのOPEカーブを示してある。

第6図から、NAを僅かに変えることにより、マスクAとマスクBの線幅のパターン疎密依存誤差のマスク間差をほぼ解消できることが分かる。

以上の説明のように、本発明方法によれば、露光装置のNA及び $\sigma$ の少なくともいずれかを僅かに変えることにより、OPCによる従来のマスク補正方法では、線幅のパターン疎密依存誤差に関し残留するテストマスクと補正マスクのマスク間差を解消することができる。

これにより、線幅のパターン疎密依存誤差に関するテストマスクと補正マスクのマスク間差に起因するウエハの転写パターン寸法誤差を大きく低減することができる。

20

#### 図面の簡単な説明

第1図は、ピッチの広狭とマスク製造誤差との典型的な関係を示すグラフである。

第2図は、マスクの線幅のパターン疎密依存誤差をパラメータにして、パターンピッチと転写CDとの関係を表す模式的なグラフ、いわゆるOPEグラフである。

第3図は、テストマスクの線幅のパターン疎密依存誤差が補正マスクを転写した際の転写CDに与える影響を示すグラフである。

第4図は、第3図のグラフのデータの表である。

第5図は、補正マスクの線幅のパターン疎密依存誤差  $\Delta M$  がゼロの理想マスク（マスクA）と、 $\Delta M$  が2 nmの現実に近いマスク（マスクB）の2つのマスクの補正マスクの転写CDのシミュレーション結果を示すOPEカーブである。

第6図は、露光装置のNAの微調整によりマスクマッチングさせたシミュレーション結果を示すOPEカーブである。

第7図は、実施形態例のマスク補正方法の手順を示すフローチャートである。

第8図は、従来のマスク補正方法の手順を示すフローチャートである。

第9図は、ピッチと補正マスクのCDの関係でOPC後のマスク寸法を示すグラフである。

第10図は、マスクBの線幅の疎密依存誤差（ウエハ換算）を示すグラフである。

#### 発明を実施するための最良の形態

以下に、実施形態例を挙げ、添付図面を参照して、本発明の実施の形態を具体的かつ詳細に説明する。

#### 実施形態例

本実施形態例は本発明に係るマスク補正方法の実施形態の一例であって、第7図は本実施形態例のマスク補正方法の手順を示すフローチャートである。

まず、第7図に示すように、ステップS<sub>1</sub> テストマスク作製工程でテストマスクを作製する。テストマスクは、光近接効果補正法を適用する

- プロセスモデル抽出用マスクとして機能するマスクであって、テストマスク作製時には、先ず、第3図に示す解析結果に基づいて、テストマスクの線幅のパターン疎密依存誤差を許容範囲を設定する。次いで、テストマスクの線幅のパターン疎密依存誤差を許容範囲内に収めるマスク作製条件を設定し、そのマスク作製条件でテストマスクを作製する。

また、テストマスク作製のマスク作製条件は、ステップS<sub>5</sub>の補正マスクの作製時でも補正マスクの線幅のパターン疎密依存誤差を同じ許容範囲内に収めることができるマスク作製条件とする。即ち、線幅のパターン疎密依存誤差が製造ばらつきの中心にあるようなものが望ましい。

- 10 続いて、ステップS<sub>2</sub>テストマスク転写工程に移行して、実際のフォトリソマスクを転写する条件と同じ転写条件でテストマスクのマスクパターンをウエハ上に転写する。

次に、ステップS<sub>3</sub>転写ウエハ測長工程に移行して、ウエハ上に転写した転写パターンの寸法をCD-SEM等で測長する。

- 15 次いで、ステップS<sub>4</sub>プロセスモデル抽出工程に移行する。ステップS<sub>4</sub>では、汎用OPCシミュレータを用いてフォトリソマスクのマスクパターンの転写パターンをシミュレーションした結果が、ステップS<sub>3</sub>で得た測長結果になるような関数モデル、いわゆるプロセスモデルを抽出ないし導出する。これにより、汎用OPCシミュレータによりプロセスモデルに基づいてシミュレーションして得たフォトリソマスクのマスクパターンの転写パターンは、ステップS<sub>3</sub>で得た測長結果を有する転写パターンになる。

- 25 次に、ステップS<sub>5</sub>マスク補正処理工程に移行して、ステップS<sub>4</sub>で導出したプロセスモデルを用いて、転写パターンが設計パターンになるようなマスクパターンを前述の汎用シミュレータを使用して導出し、作製すべきマスクのマスクCADデータを作成する。

次に、ステップS<sub>5</sub> 補正マスク作製工程に移行して、ステップS<sub>5</sub> で作成したマスクCADデータに基づいて補正マスクを作製する。

補正マスクの作製の際には、補正マスクの線幅のパターン疎密依存誤差が所定の範囲内でテストマスクの線幅のパターン疎密依存誤差と一致

5 するようなマスク製造条件で補正マスクを作製する。

次いで、露光装置の露光条件の調整によりOPEカーブをマッチングさせるステップS<sub>7</sub> 補正マスク転写工程に移行する。

上述のようなマスク作製条件でテストマスク及び補正マスクを作製しているので、双方のマスクの線幅のパターン疎密依存誤差は所定の範囲  
10 内で一致しているが、光リソグラフィ・プロセスの再現性に起因する線幅のパターン疎密依存誤差に関するマスク間差が残留しているので、線幅のパターン疎密依存誤差は、テストマスクと補正マスクとの間で僅かに異なる。

そこで、ステップS<sub>7</sub> では、フォーカスマージン及び露光量マージン  
15 からなるリソグラフィマージンの許容範囲内で、露光装置の開口数（NA）及びコヒーレンスファクタ（ $\sigma_{in}$ 、 $\sigma_{out}$ ）の少なくともいずれかを僅かに変えて補正マスクを転写し、転写CDのOPEカーブがピッチの広狭に関しフラットになる露光条件を求める。

求めた露光条件で補正マスクを転写することにより、上述の線幅のパ  
20 ターン疎密依存誤差のマスク間差をほぼ完全に解消することができる。

本発明方法によれば、OPC法により補正した補正マスクを転写する際、パターンピッチの所定範囲にわたりOPE特性をフラットにできる、露光装置の開口数（NA）及びコヒーレンスファクタ（ $\sigma$ ）の少なくともいずれかを求め、その条件で露光することにより、マスク製造上残留  
25 する線幅のパターン疎密依存誤差に関するテストマスクと補正マスクとのマスク間差を所定範囲に抑えることができる。

また、テストマスクの線幅のパターン疎密依存誤差を許容範囲に収めることができるマスク作製条件でテストマスクを作製してテストマスクを使用し、プロセスモデル抽出、補正マスクの線幅を算出することにより、補正マスクの転写パターンの線幅のパターン疎密依存誤差を許容範囲内に収めることができる。

5

更に、線幅のパターン疎密依存誤差に関するテストマスクと補正マスクとのマスク間差が、所定範囲内になるように設定されたマスク作製条件で補正マスクを作製することにより、線幅のパターン疎密依存誤差に関するテストマスクと補正マスクとのマスク間差の大部分を解消することができる。

10

更に、露光条件設定工程では、補正マスクを転写した際、OPEカーブに残留している誤差が全ピッチにわたり最も小さくなる（OPEカーブがフラットになる）ように、露光装置のNA、 $\sigma$ のうちの少なくとも一つを、プロセスマージンの劣化の影響の無い範囲で僅かに変える。

15

これにより、テストマスクの線幅のパターン疎密依存誤差を基準してテストマスクと補正マスクとをマッチングさせ、線幅のパターン疎密依存誤差に関するテストマスクと補正マスクとのマスク間差を解消することにより、補正マスクの作製工程で僅かに残存するマスク間差を解消することができる。これにより、マスクの補正精度を大幅に向上させること

20

ができる。

## 請求の範囲

1. 光近接効果補正法を用いてフォトマスクを補正する方法であって、  
光近接効果補正法の適用に必要な関数モデルの抽出用マスクとして機能するテストマスクを作製する工程と、  
5 テストマスクのマスクパターンをウエハ上に転写し、転写パターンの寸法を測長する工程と、  
フォトマスクをウエハ上に転写してなる転写パターンの寸法を関数モデルを使ってシミュレーションした際、シミュレーション結果が前記測長する工程で得た測長結果に一致するような関数モデル（以下、プロセスモデルと言う）を導出する工程と、  
10 プロセスモデルを用いて、転写パターンが設計パターンと一致するようなマスクパターンを導出し、導出したマスクパターンに基づいてマスクデータを作成する工程と、  
15 作成したマスクデータに基づいて補正マスクを作製する工程と、  
補正マスクを転写する際、パターンピッチの所定範囲にわたりOPE（Optical Proximity Effect）特性をフラットにできるような、露光装置の開口数（NA）及びコヒーレンスファクタ（ $\sigma$ ）の少なくともいずれかを求める露光条件設定工程と  
20 を有することを特徴とするマスクの補正方法。  
2. テストマスクを作製する工程では、テストマスクの線幅のパターン疎密依存誤差を許容範囲に収めることができるマスク作製条件でテストマスクを作製することを特徴とする請求の範囲第1項に記載のマスクの補正方法。  
25 3. 補正マスクを作製する工程では、線幅のパターン疎密依存誤差に関するテストマスクと補正マスクとのマスク間差が、所定範囲内になる

ように設定されたマスク作製条件で補正マスクを作製することを特徴とする請求の範囲第1項又は第2項に記載のマスクの補正方法。

4. 露光条件設定工程では、補正マスクを転写した際のOPEカーブが全ピッチにわたり最もフラットになるように、露光装置の露光条件の
- 5 NA、及び $\sigma$ の少なくとも一つを僅かに変えることにより、線幅のパターン疎密依存誤差に関するテストマスクと補正マスクとのマスク間差を解消することを特徴とする請求の範囲第1項から第3項のいずれか1項に記載のマスクの補正方法。

Fig.1

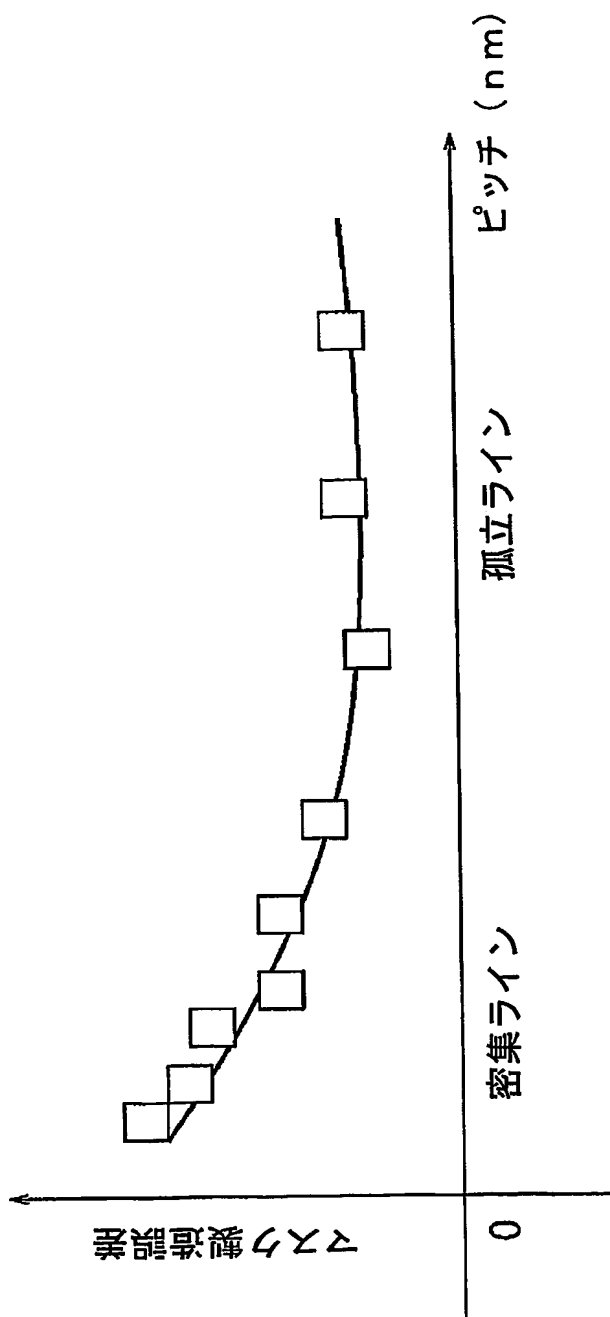
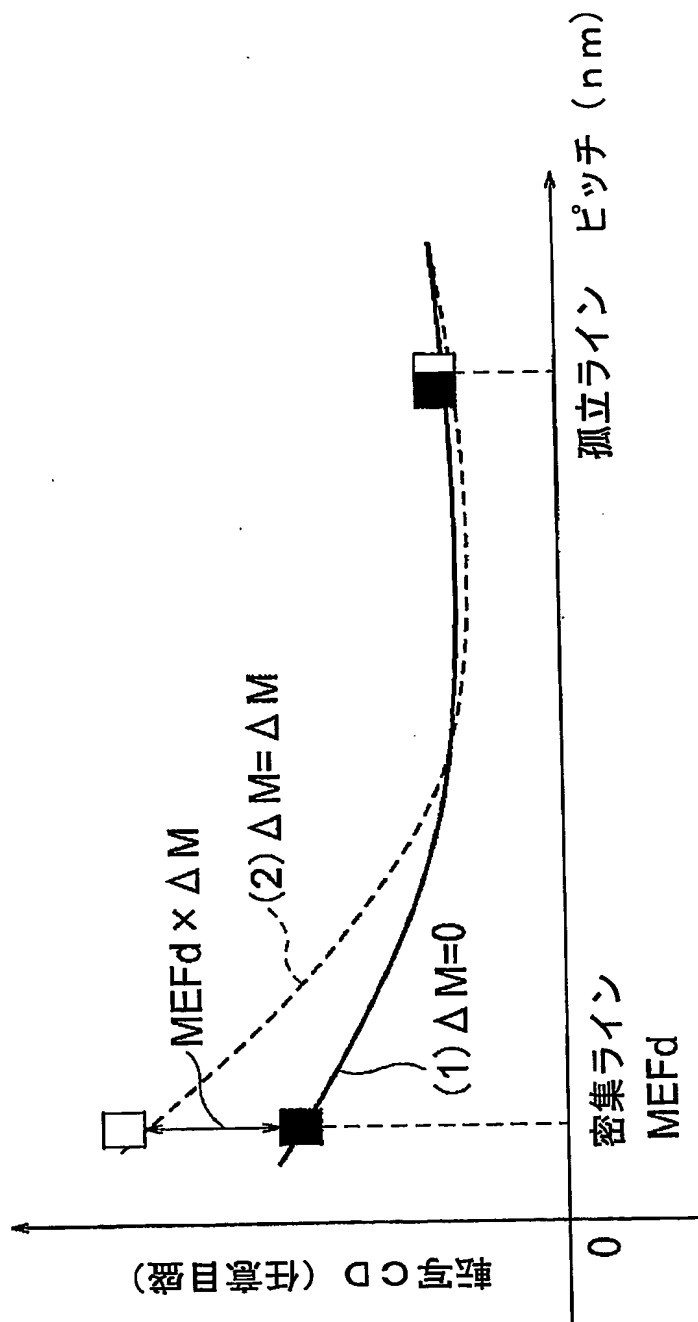


Fig.2



3/9

Fig.3

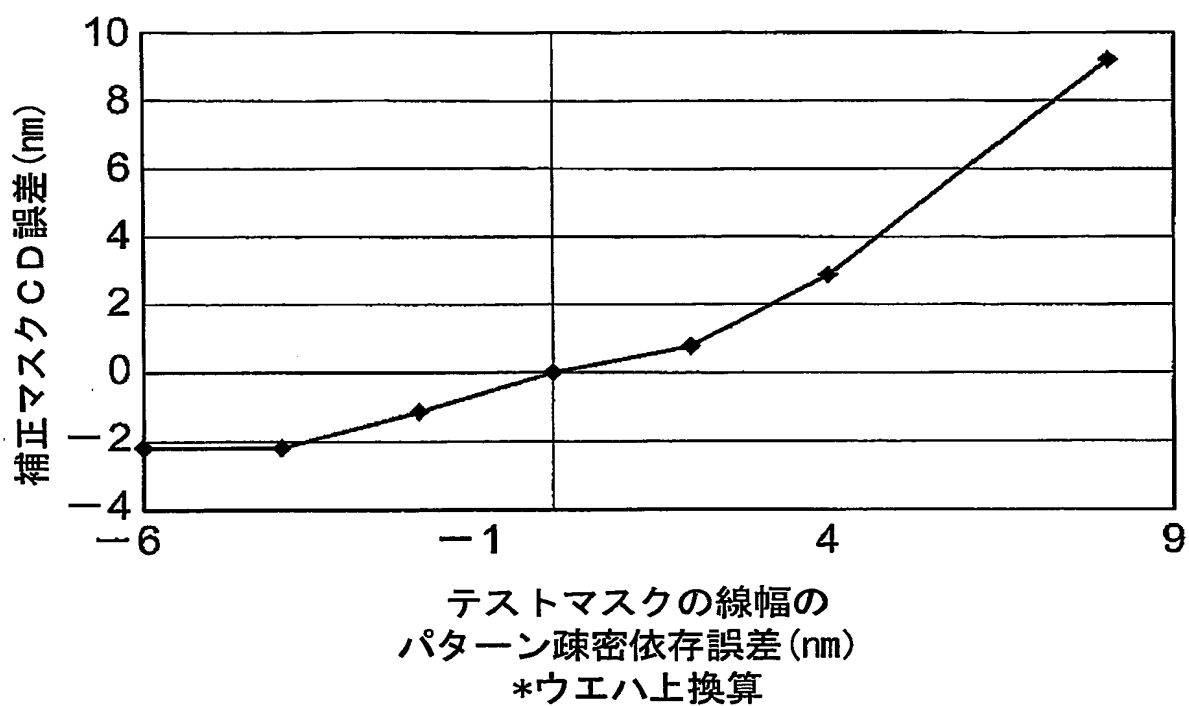


Fig.4

マスクの疎密 寸法差 (W換算)	算出される補正 マスク値	補正マスク寸法 (疎密依存が再 現した時)	補正マスク転写 時のウエハCD 誤差
-6	132	126	-2.2
-4	130	126	-2.2
-2	128.5	126.5	-1.2
0	127	127	0
2	125.5	127.5	0.8
4	124.5	128.5	2.9
8	123.5	131.5	9.2

Fig.5

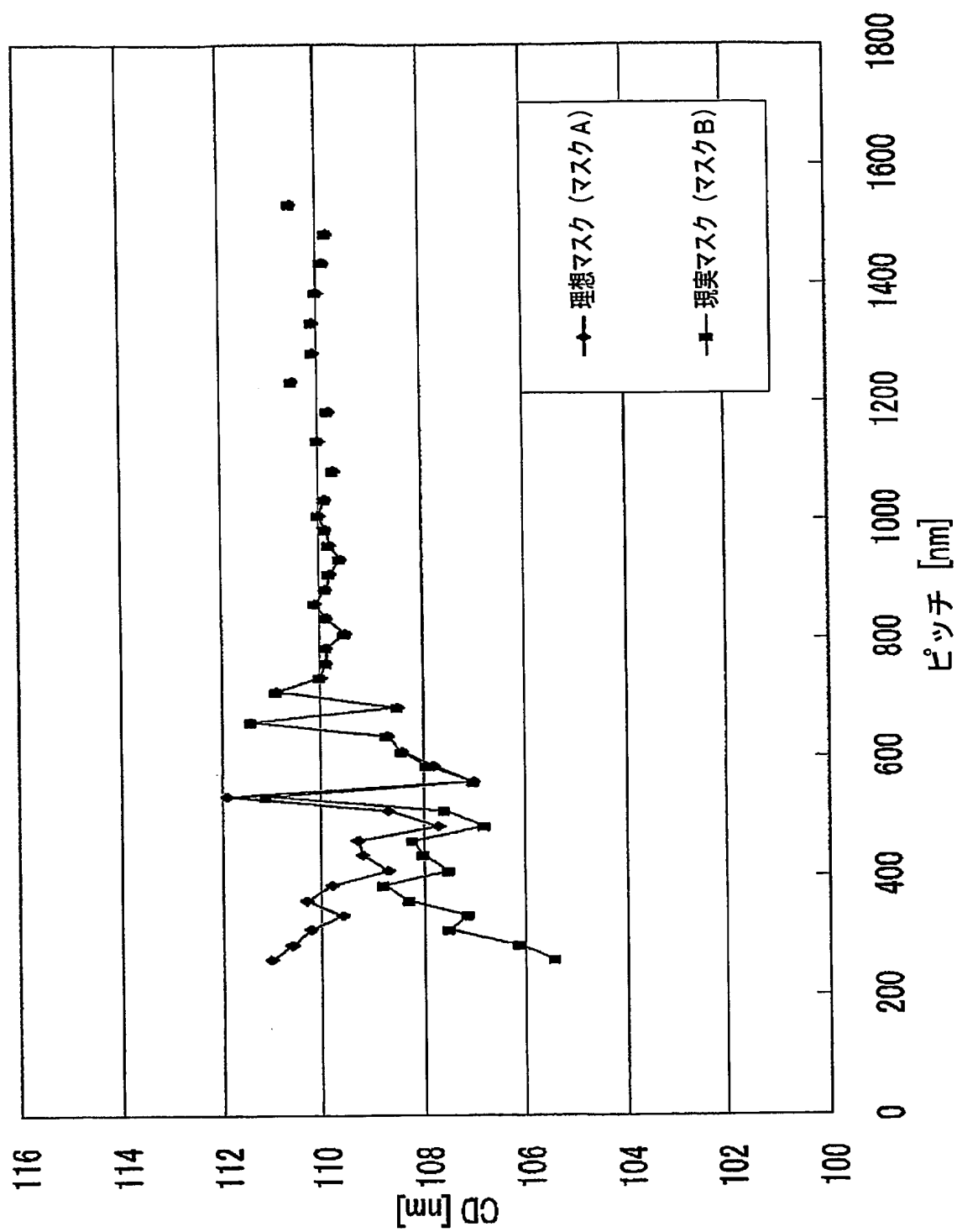
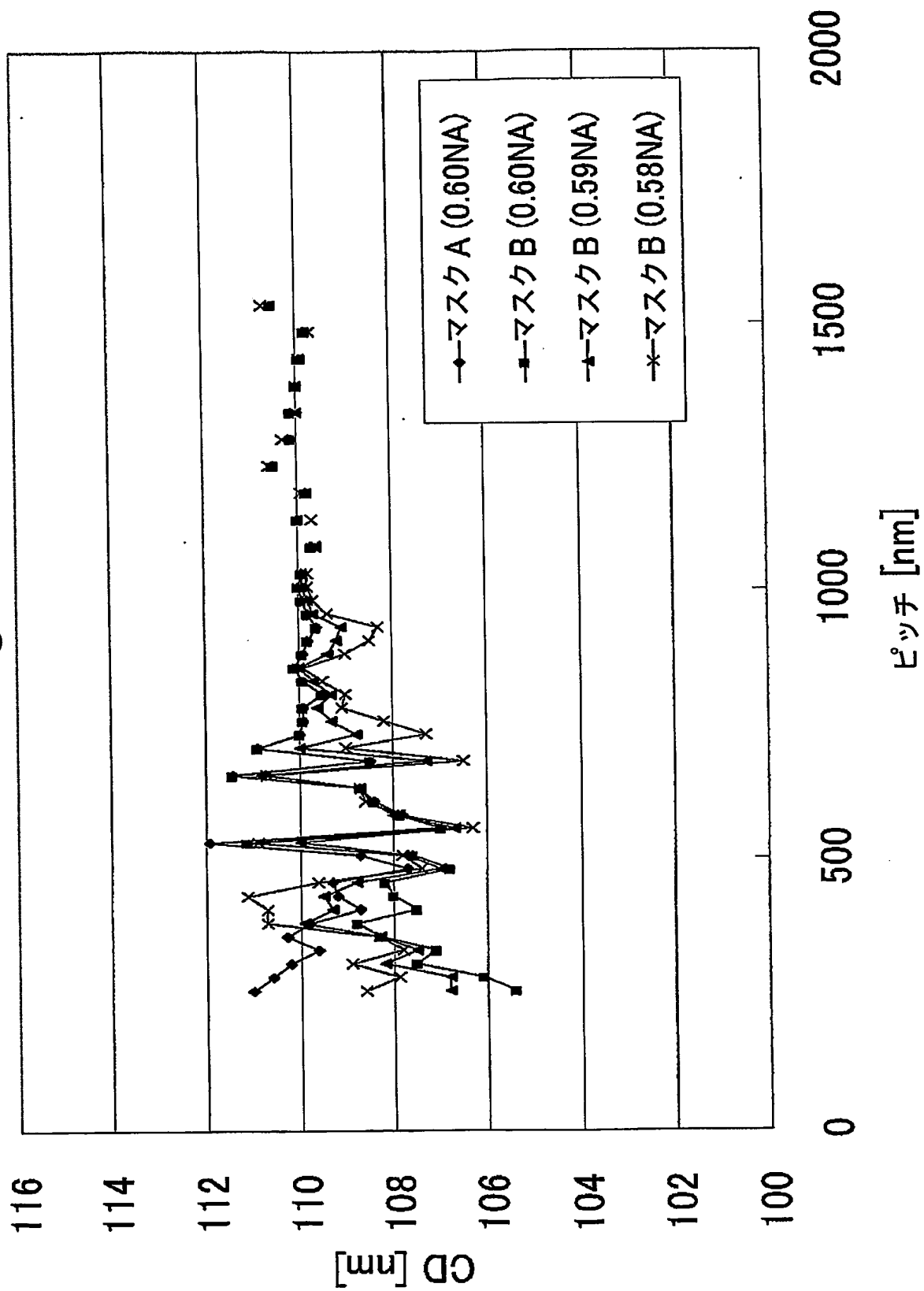
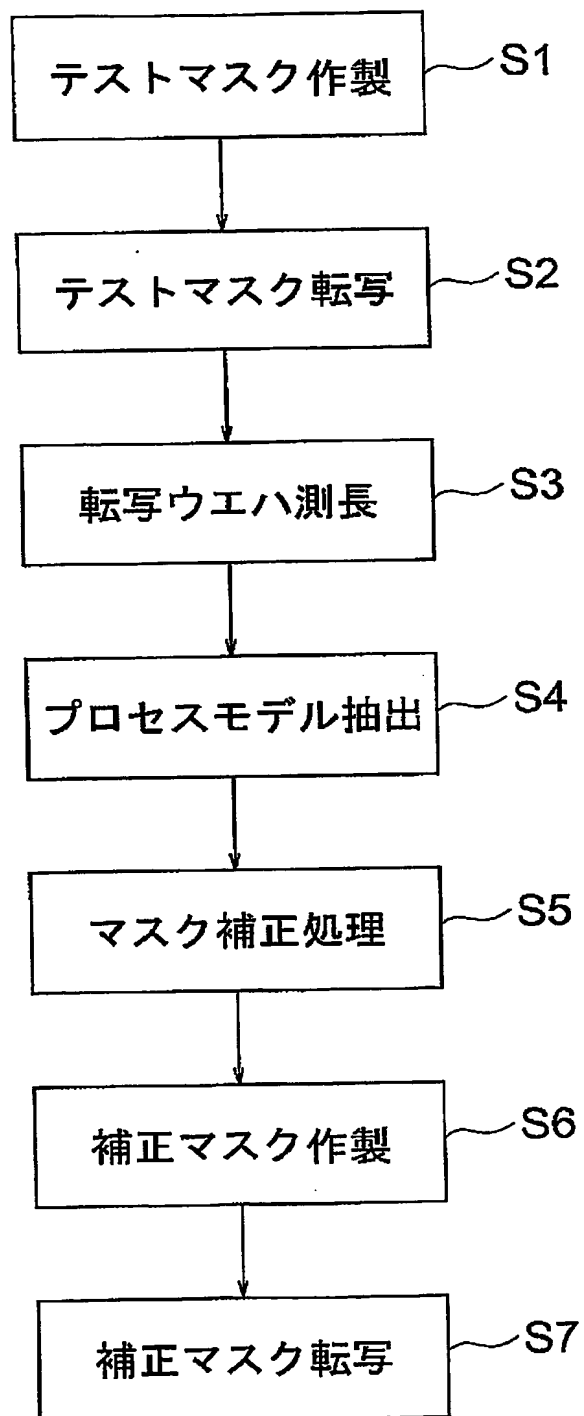


Fig.6



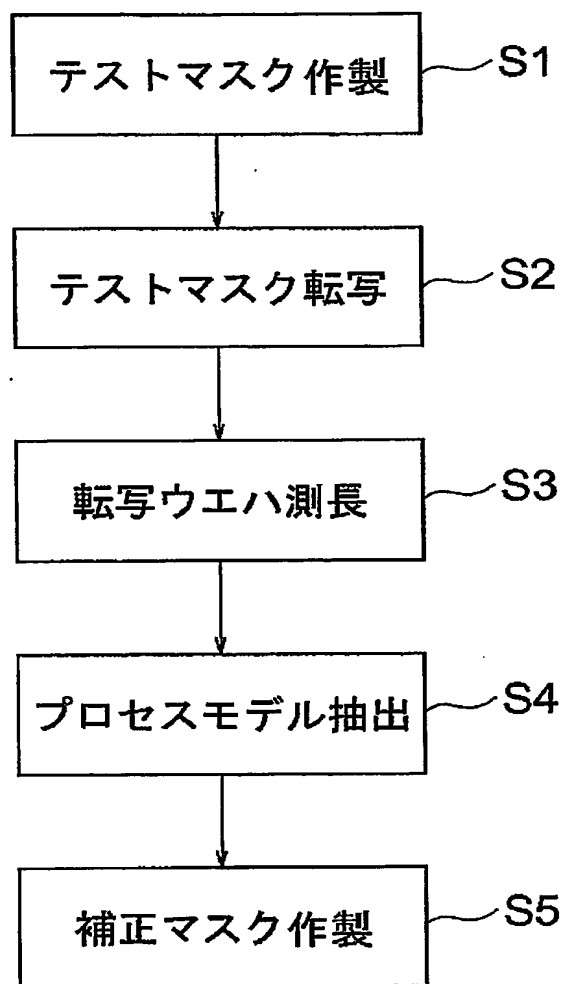
6/9

Fig.7



7/9

Fig.8



8/9

Fig.9  
OPC後のマスク寸法 (シミュレーション)  
露光量 140nm iso ライン(マスク)=> 110nm ライン (ウエハ)

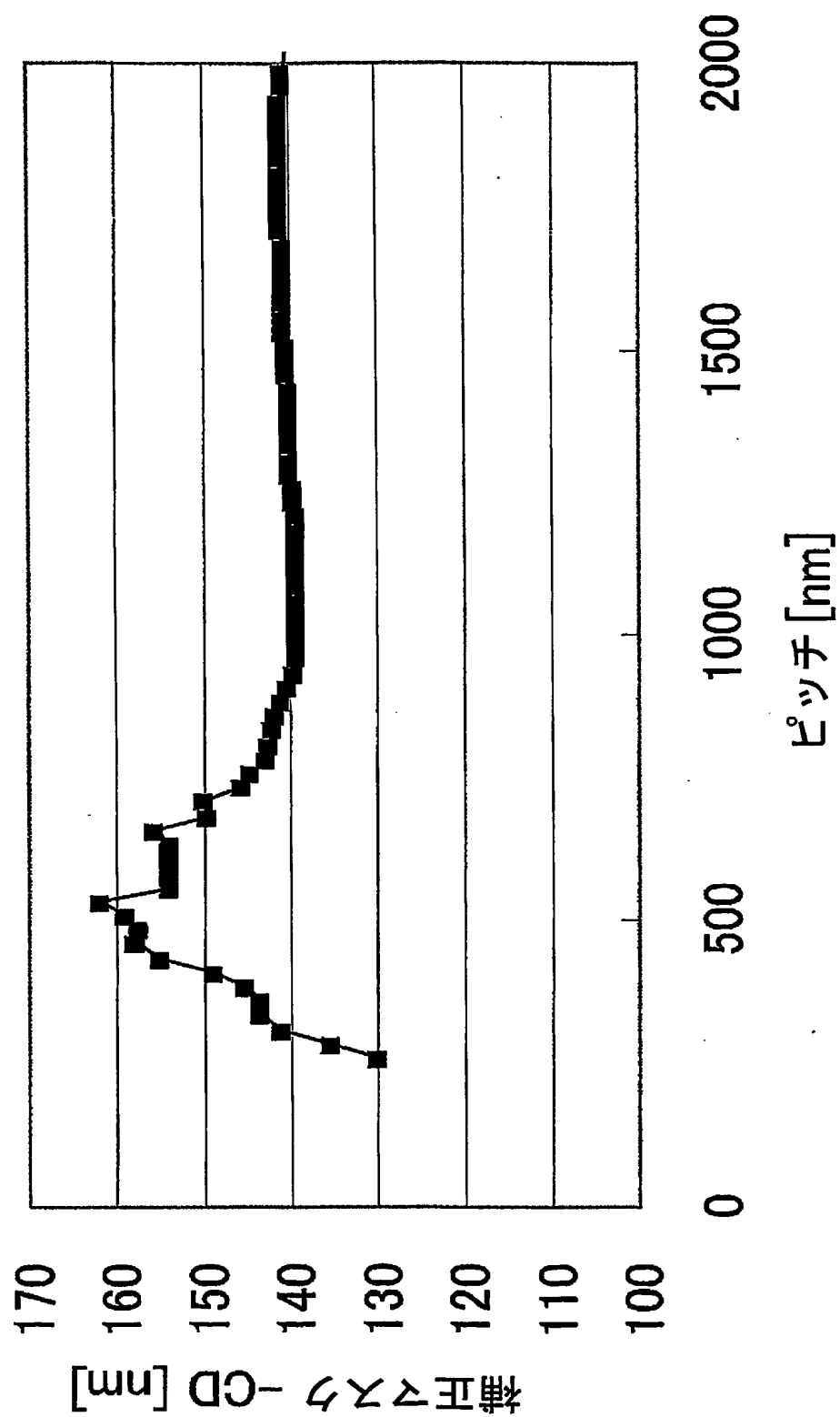
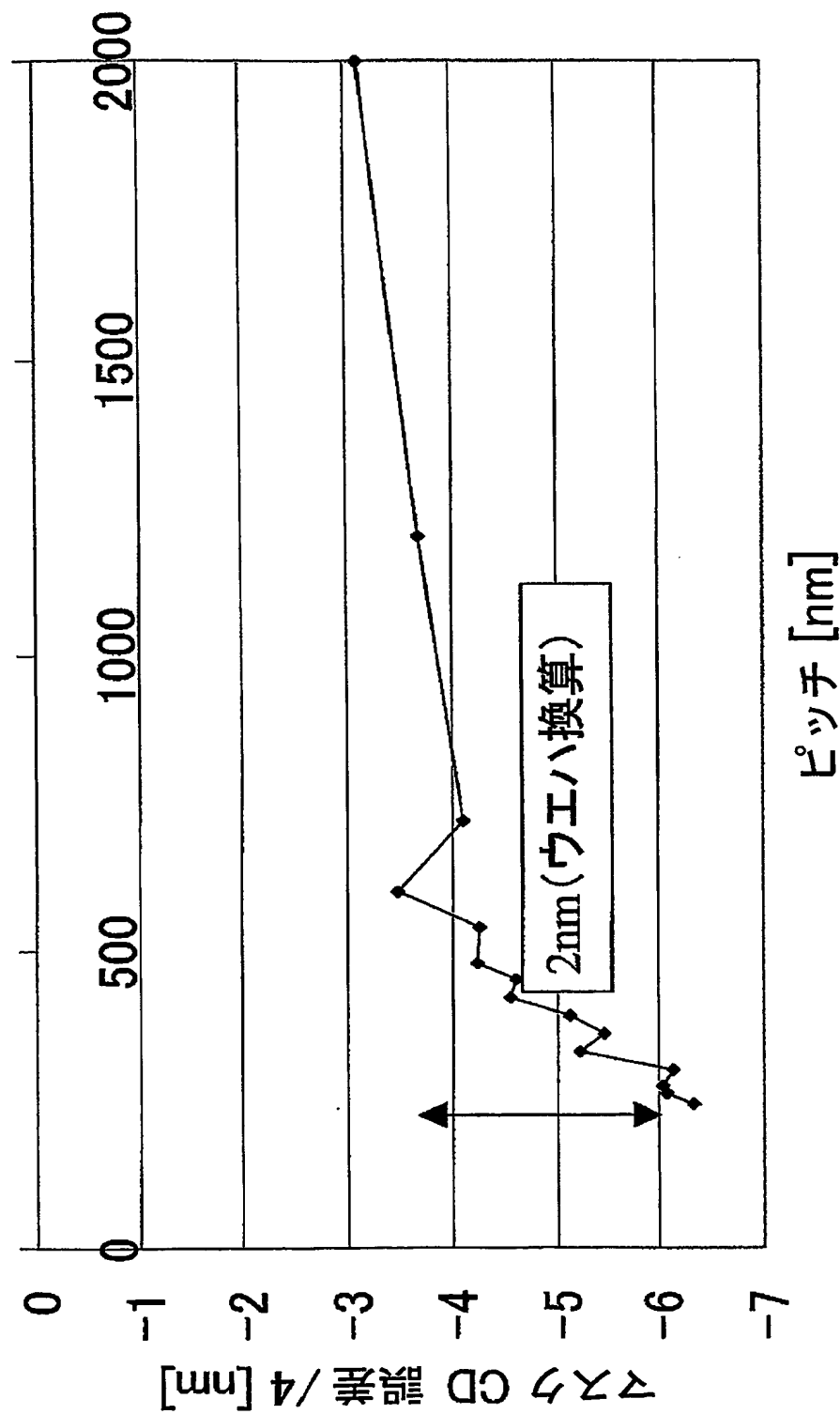


Fig.10

マスクBの線幅の疎密依存誤差(ウエハ換算)  
(目標=140nmライン スルーピッチ)



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/16343

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> G03F1/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> G03F1/08

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 10-78646 A (NEC Corp.), 24 March, 1998 (24.03.98), Abstract; Par. Nos. [0012] to [0018] (Family: none)	1-4
A	JP 6-19115 A (NEC Corp.), 28 January, 1994 (28.01.94), Full text; all drawings (Family: none)	1-4

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
18 March, 2004 (18.03.04)

Date of mailing of the international search report  
30 March, 2004 (30.03.04)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G03F1/08

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G03F1/08

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P 10-78646 A (日本電気株式会社) 1998.03.24 【要約】【0012】～【0018】 (ファミリーなし)	1-4
A	J P 6-19115 A (日本電気株式会社) 1994.01.28 全文全図 (ファミリーなし)	1-4

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

18.03.2004

国際調査報告の発送日

30.3.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)  
 郵便番号100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)  
 伊藤 昌哉

2M 3011

電話番号 03-3581-1101 内線 3274